



Entwicklung der künstlichen Dünen im Pirolatal auf Langeoog – sedimentologische und vegetationskundliche Untersuchungen

Lena Seehausen¹, Holger Freund² & Lasafam Iturrizaga¹

¹Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Geographie

²Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg, Institut für Chemie und Biologie des Meeres
(ICBM-Terramare), AG Geoökologie

Abstract

Due to negative sand balance at the beach close to the Pirolatal on Langeoog, strong erosion of the outer dunes takes place. Since 1997 seven artificial dunes were built to protect this valley against breaching of the dunes. These artificial dunes consist of sand from the beach. Because this material is unsorted and non-aeolian, differences to the natural dunes can be expected.

To indicate these differences sediment and vegetation of the artificial dunes have been analysed and compared with those of natural dunes of the island. The characteristics of the artificial dunes have been used to create a prediction concerning the development of these dunes.

By grain size analysis the artificial dunes can be described as worse sorted and coarser grained than the natural dunes. The analysis of the humus content, the pH-value and the content of carbonate proves the same processes of accumulation of humus, acidification and decalcification concerning both types of dunes. While the classification of vegetative association and the frequency of species do not allow any comparability, it is possible to document increasing vegetation with the time on artificial and natural dunes. The processes of accumulation of humus, decalcification and acidification are expected to proceed and initiate soil formation. Finally the close connection between vegetation and the conditions regarding the location prevents a natural development of the artificial dunes.

1 Einleitung

Seit ca. 1997 weist die Sandversorgung des Strandes vor dem Pirolatal im Nord-Westen Langeoogs eine negative Bilanz auf (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz 2007). Dies hat seither sowohl die Erosion des Strandes als auch der Randdünen in diesem Bereich zur Folge.

Nachdem die Erosion die Randdünen in der Bezugshöhe von 8 m ü. NN auf eine kritische Breite von unter 20 m verschmälert hat, wurde 1997/98 die erste künstliche Düne als rückseitige Verstärkung zum Schutz gegen einen drohenden Dünendurchbruch, verursacht durch winterliche Sturmfluten, errichtet. Der Grund für die Verstärkung liegt zum einen im Schutz des westlich gelegenen Ortes und zum anderen im Schutz des Trinkwassergewinnungsgebietes in den Herrenhusdünen südlich des Pirolatals. Bei einem Dünendurchbruch würde Salzwasser in das Pirolatal eindringen und die Süßwasserlinse versalzen. Die autarke Trinkwasserversorgung Langeoogs wäre dadurch auf längere Zeit nicht mehr möglich. Aufgrund der fortwährenden Erosion musste diese Küstenschutzmaßnahme in den folgenden Jahren laufend erweitert werden. Bis zum Jahr 2009 wurden insgesamt sieben künstliche Dünen errichtet (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz 2007).

Die künstlichen Dünen werden aus inseleigenem Strandsand modelliert und anschließend bepflanzt. Im Gegensatz zum Sand, der die natürlichen Dünen aufbaut, handelt es sich bei diesem Sand nicht um äolisches Material, wie Van Dieren (1934) für den Prozess der organogenen Dünenbildung beschreibt. Theoretisch betrachtet müssten sich daraus sedimentologische Unterschiede in der Beschaffenheit der

künstlichen und der natürlichen Dünen ergeben. Hier ist vor allem eine schlechtere Sortierung der Korngrößen zu vermuten, die durch das augenscheinliche Vorkommen von Schill im Sand der künstlichen Dünen angedeutet wird. Des Weiteren wird eine höhere Lagerungsdichte als Resultat der schlechteren Sortierung erwartet. Auch eine unterschiedliche chemische Zusammensetzung ist wahrscheinlich. Da die leichteren Körner schon bei geringeren Windstärken abtransportiert werden, besitzt Strandsand tendenziell eine höhere Konzentration an Schwermineralen (Streif 1990).

2 Zielsetzung

In dieser Arbeit werden die künstlichen Dünen anhand von sedimentologischen und vegetationskundlichen Methoden und Parametern mit den natürlichen Dünen auf Langeoog verglichen, um aufzeigen zu können, worauf sich die Unterschiede zwischen den künstlichen und den natürlichen Dünen beziehen und ob gegebenenfalls auch Ähnlichkeiten nachgewiesen werden können. Die Kombination beider Untersuchungsaspekte geht auf die Theorie der organogenen Dünenbildung von van Dieren (1934) zurück, wonach die Bildung und Entwicklung von Dünen durch die Anwesenheit von Vegetation maßgeblich beeinflusst wird. In einem zweiten Schritt wird versucht auf der Grundlage der Ergebnisse eine Prognose für die Entwicklung der künstlichen Dünen zu geben.

Als Beitrag zu einer besseren Bewertung künstlicher Dünen als Küstenschutzmaßnahme im Allgemeinen, soll im Konkreten das Augenmerk auf die Integrationsfähigkeit der künstlichen Dünen in das Ökosystem einer Düneninsel gelegt werden. Diese Bewertung soll anhand der prognostizierten Entwicklungsprozesse innerhalb der künstlichen Dünen und deren Vegetation erfolgen.

3 Methodik

Sedimentologische Untersuchungen

Die sedimentologischen Untersuchungen wurden in zwei Kategorien unterteilt. Zunächst sind sekundäre Entwicklungsprozesse behandelt worden, die nach der Entstehung oder Errichtung der Düne aufgrund von äußeren Einflüssen mit der Zeit ablaufen, wie zum Beispiel Entsalzung oder Karbonatauswaschung. Darauf folgten die Untersuchungen, welche grundlegende physikalische Unterschiede in der Beschaffenheit der Dünen aufzeigen sollten, wie zum Beispiel die Röntgenfluoreszenzanalyse oder die Lagerungsdichte.

Es wurden zum einen Sedimentproben in Form von Mischproben aus einer Tiefe bis 10 cm entnommen und zum anderen Stechzylinderproben, die aus einer Tiefe zwischen 4 cm und 8 cm stammen. Insgesamt gab es 16 Standorte, die jeweils vier Parallelproben aufwiesen, so dass eine Gesamtzahl von 64 Proben sowohl für die Sedimentproben als auch für die Stechzylinderproben existierte.

Für die Bestimmung des Salzgehaltes sind zunächst Messungen der elektrischen Leitfähigkeiten mit dem Kombi-Gerät pH 7 Cond 350 I mit der Leitfähigkeitssonde TetraCon 325 in einem Verhältnis von 1:2,5 (Sediment zu destilliertem Wasser) und nach zweistündiger Ruhezeit durchgeführt worden. Danach wurde der Salzgehalt durch Multiplikation mit dem EC-Faktor 0,5 errechnet (Schlichting et al. 1995). Die Karbonatmessungen erfolgten mit der Apparatur nach Scheibler unter der Verwendung von 10%iger HCl. Das durch die Salzsäure aufgelöste Karbonat wurde nach Schlichting et al. (1995) als CaCO_3 interpretiert. Der pH-Wert wurde in einer 0,01 mol CaCl_2 -Lösung in einem Verhältnis von 1:2,5 (Sediment zu Lösung) nach einer 30- bis 45-minütigen Ruhezeit (Schlichting et al. 1995) gemessen. Hierfür wurde das oben bereits benannte Kombi-Gerät mit der Sonde SenTix 81 benutzt. Bei der Bestimmung des Humusgehaltes ist zuerst der gesamte organische Kohlenstoff durch Muffelung bei 550°C bis zur Gewichtskonstanz (nach DIN 38 414 S3) ermittelt worden. Der Gehalt an organischer Substanz wurde anschließend durch Multiplikation mit dem Faktor 1,76 in den Humusgehalt umgerechnet (Utermann 2000). Für die Röntgenfluoreszenzanalyse wurden aus Mischproben nach Hahn-Weinheimer (1995) Schmelztabletten hergestellt. Durch die Bestrahlung mit

Röntgenstrahlen konnten die Haupt-, Neben- und Spurenelemente bestimmt werden. Als Vergleichsstandard ist Löss verwendet worden. Die Lagerungsdichte wurde aus der Multiplikation der Differenz zwischen dem feuchten und dem getrockneten Sediment (bei 70 °C für 24 Stunden bis zur Gewichtskonstante) mit dem Zylindervolumen errechnet (Hartge & Horn 1989). Für die Korngrößenanalyse wurden als erstes die Korngrößen mit dem Laserpartikel-Messgerät Analysette 22 gemessen. Daraufhin wurde aus den Rohdaten mit Hilfe des Statistikprogramms Analysette 22-23 Bit die Standardabweichung als Maß der Sortierung errechnet. Zusätzlich sind der Sortierungsgrad als weiteres Maß der Sortierung und die Schiefe nach Trask (1939) bestimmt worden. Die Beurteilung der Sortierungsgrade erfolgte nach Füchtbauer (1959).

Vegetationskundliche Untersuchungen

Für die Auswertung der Vegetationserfassung wurde in drei Stufen verfahren. Zunächst wurde die Deckung der Vegetation als grundlegendes, direkt aus der Kartierung entnommenes Unterscheidungskriterium verwendet. Darauf folgte die Zuordnung von Pflanzengesellschaften auf den natürlichen Dünen anhand der kartierten Arten als eine qualitative Analyseverfahren, die im Zusammenhang mit der Frequenz zur floristischen Bewertung der Standorte diente. Zuletzt wurde mit den Zeigerwerten nach Ellenberg (2001) die komplexeste Methode angewendet, die eine Kombination aus floristischen und physikalischen Eigenschaften der Standorte ermittelt.

Bei der Vegetationskartierung wurde eine Fläche von 4 m² aufgenommen, die nach dem Zufallsprinzip ausgewählt wurde. Folgende Daten sind dabei erfasst worden: die Arten, die Exposition, die Deckung der Vegetation, die Artmächtigkeit nach Braun-Blanquet (1964) und die Etagen (Moos-, Kraut-, Strauch- und Baumschicht). Die kartierten Flechten wurden nach Jahns (1980) klassifiziert, die Moose nach Frahm & Frey (1983) und die Farne und Gefäßpflanzen nach Wisskirchen & Haeupler (1998).

Die Zuweisung von Pflanzengesellschaften geschah nach Ellenberg (1996). Aus den kartierten Artmächtigkeiten wurden die mittleren Deckungsprozente nach Tüxen & Ellenberg (1937) benutzt, um hieraus die Frequenzen der Arten nach Frey (1998) zu berechnen. Zum Schluss fanden die Zeigerwerte nach Ellenberg (2001) als weitere Analyseverfahren Verwendung. Hierbei wurden lediglich die Lichtzahl, die Feuchtezahl, die Reaktionszahl, die Stickstoffzahl und die Salzzahl verwendet. Die Temperaturzahl und die Kontinentalitätszahl sind ausgelassen worden, da die Temperaturzahl sich laut Ellenberg (2001) eher auf Höhenunterschiede im Gebirge bezieht und die Standorte in derselben Kontinentalitätszone liegen.

4 Untersuchungsgebiete

Das primäre Untersuchungsgebiet Pirolatal und das als Vergleichsstrecke dienende Untersuchungsgebiet Meierei/Falkenweg sind in der Abb. 1 innerhalb Langeoogs verortet.

Pirolatal

Das Pirolatal liegt im Nordwesten Langeoogs. 2009, im Jahr der Untersuchungen, war das Tal bereits auf der gesamten Länge zur See hin mit künstlichen Dünen versehen.

Abb. 2 zeigt die einzelnen künstlichen Dünen (mit dem jeweiligen Jahr der Erbauung) in Abgrenzung zueinander mit nummerierten GPS-Messpunkten. Die aus Google Earth entnommene Karte ist eine Luftbildaufnahme von 2006. Die dargestellte Abbruchkante liegt nach eigenen Beobachtungen ca. 60 m weiter nördlich als jene, die zur Zeit der Beprobung vorhanden war. Die Dünen von 2000 und 2002 sind bis zum Jahr 2008 bis auf eine Breite von ca. 30 m erodiert. Die jüngeren künstlichen Dünen von 2007 und 2008 sind vermutlich durch nachträgliche Bearbeitung eingefügt worden. Ein Hinweis hierfür ist die in der Abb. 2 fehlende Lageübereinstimmung des Probepunkts 06 mit der künstlichen Düne von 2008.

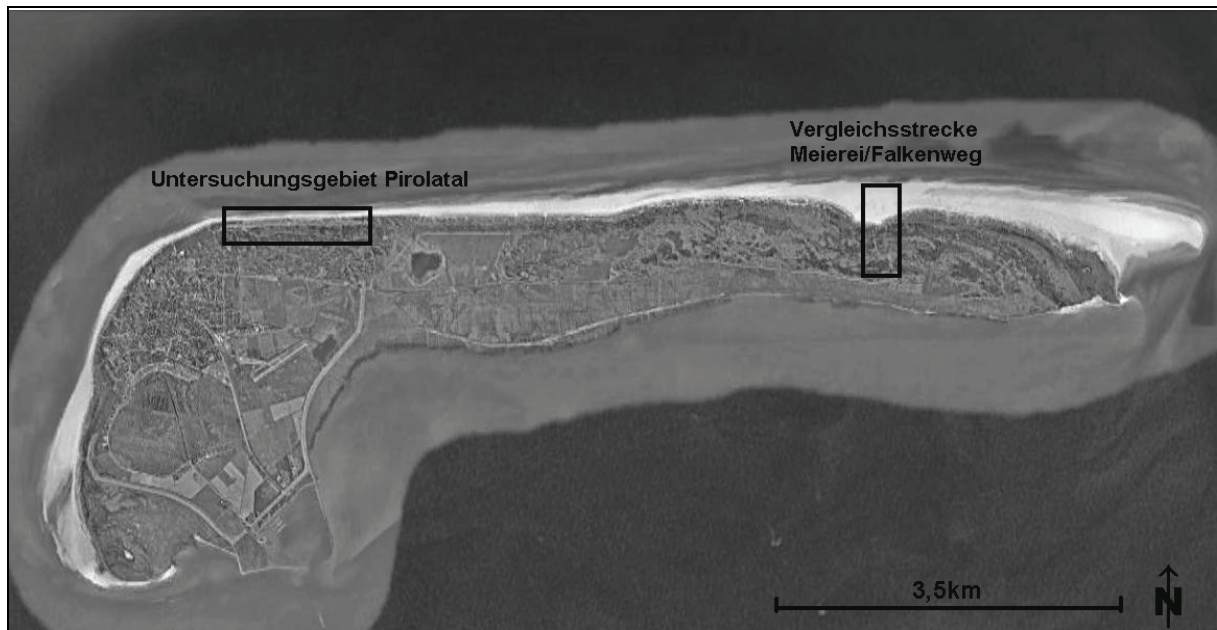


Abb. 1: Langeoog mit den Untersuchungsgebieten (Google Germany GmbH 2009, verändert).

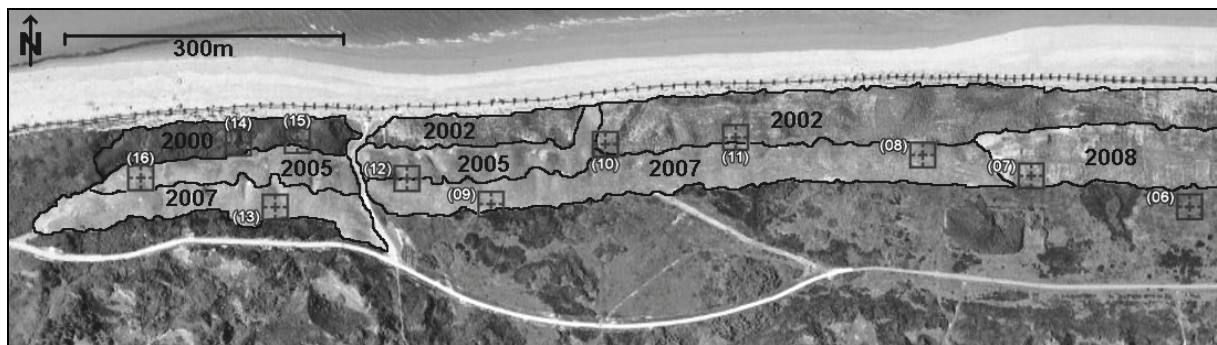


Abb. 2: Künstliche Dünen im Pirolatal mit eingetragenen GPS-Messpunkten (Google Germany GmbH 2009, verändert).

Meierei/Falkenweg

Das zweite Untersuchungsgebiet befindet sich im Osten der Insel und erstreckt sich von den inneren Dünen nach Norden bis zum Strand. Eine Karte des Untersuchungsgebiets bei der Meierei/Falkenweg mit eingetragenen GPS-Messpunkten ist in der Abb. 3 zu finden.

Die Dünen, welche in diesem Untersuchungsgebiet beprobt wurden, werden entsprechend Van Dieren (1934) als natürlich entstandene Dünen definiert. Die Ergebnisse der Beprobung dieser Dünen dienen dem Vergleich mit denen der künstlichen Dünen, um die Unterschiede zwischen den künstlichen und den natürlichen Dünen grundsätzlich belegen und sowohl qualitativ als auch quantitativ bestimmen zu können.

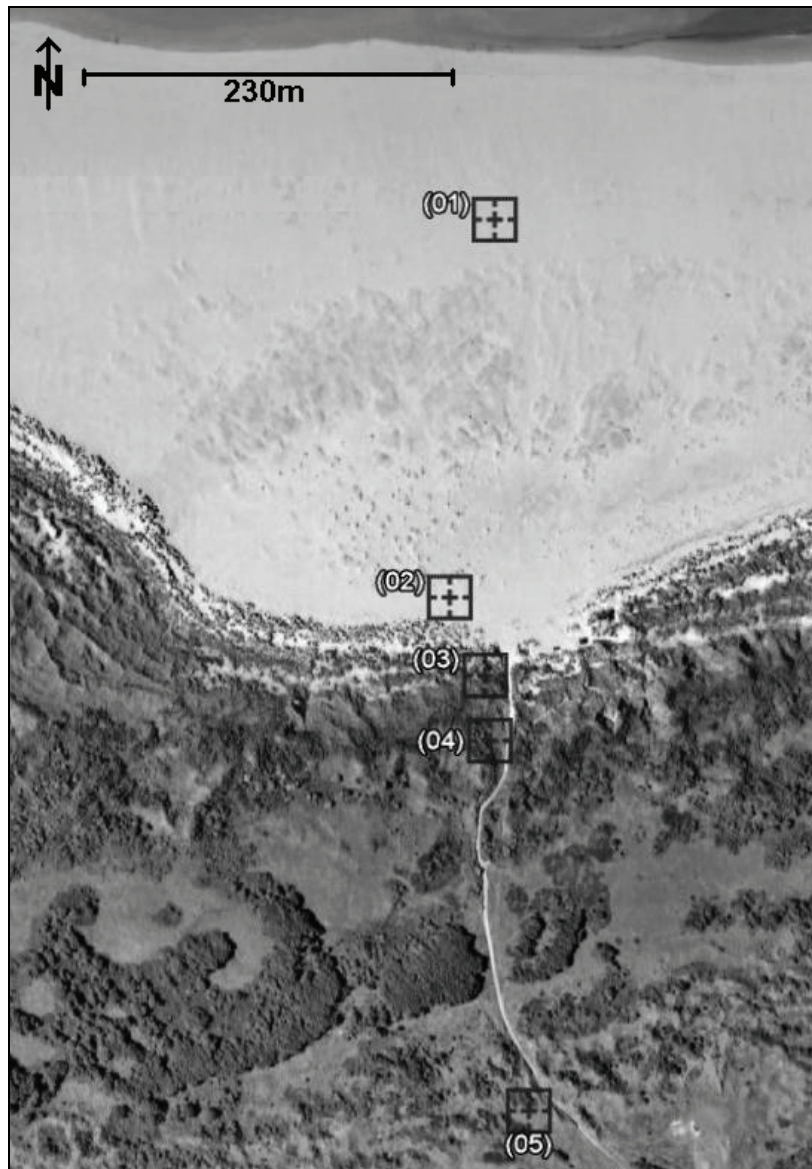


Abb. 3: Untersuchungsgebiet Meierei/Falkenweg mit eingetragenen GPS-Messpunkten, Punkt 01 ist der Probestandort am Strand, 02 der auf der Primärdüne, 03 der auf der Sekundärdüne, 04 der auf der als Übergangsstadium zwischen Sekundär- und junger Tertiärdüne klassifizierten Düne und 05 der Probestandort auf der jungen Tertiärdüne (Google Germany GmbH 2009, verändert).

Auf den natürlichen Dünen lässt sich der Prozess der Entsalzung nachweisen. Hier nimmt der Salzgehalt von 591,7 mg/l am Strand bis auf die Sekundärdüne mit 7,1 mg/l ab, was einer Reduzierung um 99 % entspricht. Von der Sekundärdüne bis zur jungen Tertiärdüne steigt der Salzgehalt um 36 % auf 11,1 mg/l an. Die erneute Zunahme steht in Verbindung mit dem hohen Humusgehalt auf diesem Standort. Humus besitzt die Eigenschaft, Salze länger gegen Auswaschung halten zu können. Auf den künstlichen Dünen ist bezüglich des Salzgehalts keine Tendenz zu erkennen.

Generell kann sowohl auf den natürlichen als auch auf den künstlichen Dünen der Prozess der Karbonatauswaschung belegt werden. So nimmt der Karbonatgehalt auf der Vergleichsstrecke von 0,2 % (Scheibler-Apparatur) bzw. 0,35 % (Differenz Glühverlust) am Strand bis auf 0 % bzw. 0,08 % auf der jungen Tertiärdüne ab.

Auf den Dünen des Pirolatals sinkt der Wert von 0,8 % bzw. 0,28 % auf der jüngsten Düne von 2008 auf 0 % bzw. 0,06 % auf der ältesten Düne von 2000. Als Einschränkung des Trends im Pirolatal sind

einige Schwankungen festzustellen, die vermutlich auf die ungleichmäßige Verteilung von Schill als primäre Karbonatquelle in den Dünen zurück zu führen sind.

Der Prozess der Versauerung lässt sich anhand des sinkenden pH-Wertes auf den natürlichen wie auch auf den künstlichen Dünen nachweisen. Auf der Vergleichsstrecke sinkt der pH-Wert von 7,6 am Strand auf 3,6 auf der jungen Tertiärdüne. Die jüngste künstliche Düne von 2008 weist noch einen Wert von 7,3 auf, während der Wert auf der Düne von 2000 auf 5,7 gefallen ist.

Auch der Prozess der Humusakkumulation lässt sich auf den natürlichen und den künstlichen Dünen nachweisen. Die Primärdüne besitzt einen Humusgehalt von 0,23 %, wogegen die junge Tertiärdüne 3,52 % Humusgehalt aufweist. Auf den künstlichen Dünen steigt der Humusgehalt in neun Jahren von 0,16 % auf 2,32 %. Es ist hier eine beschleunigte Akkumulation gegenüber den natürlichen Dünen festzustellen. Eine Begründung hierfür konnte nicht gegeben werden.

Die Röntgenfluoreszenzanalyse ergibt weder für die Proben vom Strand noch für die Proben der natürlichen Dünen eine spezifische chemische Zusammensetzung. Eine aufgrund desselben Materialursprungs vermutete Ähnlichkeit zwischen dem Probematerial vom Strand und dem der künstlichen Dünen kann ebenfalls nicht bestätigt werden. In der Tab. 1 werden exemplarisch die Ergebnisse für Titan, als typisches Element der Schwermetalle, aufgeführt.

Tab. 1: Übersicht beispielhaft ausgewählter Untersuchungsergebnisse, für den Karbonatgehalt werden die Werte der Messung mit der Scheibler-Apparatur zuerst und die des Glühverlustes zuletzt aufgeführt.

	Künstliche Dünen		Natürliche Dünen	
	2008	2000	Strand	Tertiärdüne
Salzgehalt	11,5mg/l	10,6mg/l	591,7mg/l	11,1mg/l
Karbonatgehalt	0,8% ^ 0,28%	0% ^ 0,06%	0,2% ^ 0,35%	0% ^ 0,08%
pH-Wert	7,3	5,7	7,6	3,6
Humusgehalt	0,16%	2,32%	0,42%	3,52%
RFA (Ti)	0,171%	0,393%	0,164%	0,353%
Lagerungsdichte	1,6g/cm ³	1,3g/cm ³	1,5g/cm ³	1,2g/cm ³
Korngrößenanalyse -Sortierungsgrad	15% „sehr gut“, 85% „mittel“		83% „sehr gut“, 17% „mittel“	
-Standardabweichung	88,82µm - 125,81µm		72,88µm - 105,92µm	
-Schiefe	1 - 1,09		0,99 - 1,03	
-Korngrößen- verteilung	5% >500-630µm 62% >200-500µm 31% >63-200µm		2% >500-630µm 57% >200-500µm 40% >63-200µm	37% >500-630µm 54% >200-500µm 4% >63-200µm
Deckung der Arten	15%	100%	0%	100%
Pflanzengesellschaften	nicht übertragbar		je Altersstadium der natürl. Genese	
Frequenz der Arten	nicht übertragbar		steigender Artenreichtum mit der Zeit	
Zeigerwerte	Salzzahl 1	Salzzahl 0	sinkender Trend aller Zeigerwerte	

Auch die Lagerungsdichte zeigt keine Unterschiede zwischen den natürlichen und den künstlichen Dünen. Auf der Vergleichsstrecke reichen die Werte von 1,2 g/cm³ auf der jungen Tertiärdüne bis 1,7 g/cm³ auf der Primärdüne und im Pirolatal von 1,3 g/cm³ auf der Düne von 2000 bis 1,6 g/cm³ auf der Düne von 2005. Dagegen ist bei den Proben aus beiden Untersuchungsgebieten nachweisbar, dass ein hoher Humusgehalt die Lagerungsdichte verringert.

Die Korngrößenanalyse belegt für die künstlichen Dünen nach der Bewertung von Füchtbauer (1959) sowohl eine schlechtere Sortierung als auch größere Körner. So erhalten die Sortierungsgrade nach Trask (1939) auf der Vergleichsstrecke bei 24 Proben in 20 Fällen die Bewertung „sehr gut“, was 83% der Sortierungsgrade entspricht, und nur viermal die Bewertung „mittel“. Die künstlichen Dünen besitzen bei 44 Proben von 52 als „mittel“ bewertete Sortierungsgrade und acht als „sehr gut“ bewertete, was lediglich einen Anteil von 15 % darstellt. Die Standardabweichung umfasst auf den natürlichen Dünen Werte von 72,88 μm bis 105,92 μm , während die Werte der künstlichen Dünen mit 88,82 μm bis 125,81 μm deutlich höher liegen. Auch die Schiefe nach Trask (1939) zeigt auf den natürlichen Dünen mit Werten von 0,99 bis 1,03 geringere Ergebnisse als die der künstlichen Dünen mit einer Spanne von 1 bis 1,09. Die Korngrößenverteilung belegt für die Dünen des Pirolatals 2,5 % mehr Körner im Messbereich $> 500 - 630 \mu\text{m}$, 4 % mehr im Bereich $> 200 - 500 \mu\text{m}$ und 6 % weniger im Bereich $> 63 - 200 \mu\text{m}$ in Relation zu den natürlichen Dünen. Unterhalb 63 μm sind die Werte mit unter 1 % Gesamtmenge zu vernachlässigen. Bei den Werten beider Untersuchungsgebiete handelt es sich um Durchschnittswerte, wobei der Standort am Strand und in der jungen Tertiärdüne aufgrund differenzierter Strukturen ausgelassen wurde. In den Messbereichen $< 200 \mu\text{m}$ sind keine Unterschiede festzustellen. Damit besitzen die künstlichen Dünen in Bezug auf die Korngrößenverteilung eine Tendenz zu größeren Körnern. Die vermutete Ähnlichkeit der Korngrößen zwischen dem Strand und den künstlichen Dünen lässt sich, genauso wie bei der Röntgenfluoreszenzanalyse, nicht belegen.

In Bezug auf die Deckung der Vegetation zeigen die Dünen beider Untersuchungsgebiete generell den Prozess der Zunahme mit dem Alter. Auf der Vergleichsstrecke nehmen die Deckungen von 20 % auf der Primärdüne bis auf 100 % auf der jungen Tertiärdüne zu. Die künstlichen Dünen zeigen Deckungen von 15 % auf der Düne von 2008 bis 100 % auf der Düne von 2000. Auf den künstlichen Dünen ist lediglich die mittlere Deckung mit 70 % gegenüber der mittleren Deckung auf den natürlichen Dünen mit 73 % etwas geringer.

Auf der Vergleichsstrecke ergibt die Klassifikation der Standorte anhand der Pflanzengesellschaften eine Übereinstimmung mit der natürlichen Dünengenese entsprechend Van Dieren (1934). Dadurch lässt sich die Zuschreibung der Dünen der Vergleichsstrecke als natürlich entstandene bestätigen. Eine Übertragbarkeit des Konzepts der Pflanzengesellschaften nach Ellenberg (1996) auf künstlich entstandene Dünen ist grundsätzlich ausgeschlossen.

Auf den natürlichen Dünen ist anhand der Frequenz der Arten eine Zunahme des Artenreichtums mit der Zeit belegbar. Während die Primärdüne hohe Frequenzen (Artenarmut) aufweist, fallen die Frequenzen auf der jungen Tertiärdüne gering aus (Artenreichtum). Wie bei den Pflanzengesellschaften ist eine Übertragbarkeit auf künstliche Dünen nicht möglich.

Die Zeigerwerte nach Ellenberg (2001) belegen für die natürlichen Dünen einen generell abnehmenden Trend vom Strand bis zur jungen Tertiärdüne. Es werden die Prozesse der Entsalzung (anhand der Salzzahl), der Nährstoffabnahme (Stickstoffzahl), der Versauerung (Reaktionszahl), der Verringerung des Wasserhaltevermögens (Feuchtezahl) und der Zunahme der Vegetationsdichte (Lichtzahl) aufgezeigt, welche eine natürliche Dünengenese belegen. Auf den künstlichen Dünen deutet nur die Salzzahl auf den Prozess der Entsalzung hin und weicht damit von dem Ergebnis der Salzgehaltberechnung ab. Die sonstigen Prozesse sind hier nicht nachweisbar.

5 Diskussion und Fazit

Die Ergebnisse zeigen sowohl im Bereich der sedimentologischen als auch der vegetationskundlichen Untersuchungen Unterschieden, aber auch Ähnlichkeiten zwischen den natürlichen und den künstlichen Dünen. Bei den Ähnlichkeiten sind die Versauerung, die Karbonatauswaschung und die Humusakkumulation, sowie die Zunahme der Deckung der Vegetation zu nennen. Dennoch ist die grundlegende Verschiedenheit der Materialherkunft determinierend, wie die schlechtere Sortierung des Materials, als auch die Tendenz hin zu größeren Körnern und die fehlende Vergleichbarkeit der Frequenzen der Arten und der Pflanzengesellschaften in Bezug auf die künstlichen Dünen belegen.

Die Frage nach einer Prognose für die Entwicklung der künstlichen Dünen und deren Vegetation ist nur eingeschränkt zu beantworten. Eine voranschreitende Karbonatauswaschung und Humusakkumulation ist zu erwarten. In Abhängigkeit hierzu werden die pH-Werte weiter sinken. Als Resultat der Versauerung und der Humusakkumulation ist eine einsetzende Bodenbildung zu vermuten. Die Vegetation wird sich nach der Pflanzung insoweit ändern, als dass durch die unterbundene Sandbewegung durch Heuabdeckung die für *Ammophila arenaria* (Gewöhnlicher Strandhafer) und *Calammophila baltica* (Baltischer Strandhafer) nötige Übersandung ausbleibt. Die anfänglichen Dominanzbestände der Strandhaferarten werden sich im Laufe der Zeit vermutlich hin zu einer moosreicheren, graudünen-ähnlichen Variante entwickeln. Dies wird durch die erhöhte Frequenz von Arten wie *Polytrichum piliferum* oder *Hypnum cupressiforme* var. *lacunosum* auf den älteren Probestandorten angedeutet. Zusätzlich ist eine mögliche Tendenz zur „Verbuschung“ nicht auszuschließen, da Arten wie *Hippophae rhamnoides* (Sanddorn), *Rubus caesius* (Kratzbeere) oder *Rosa rugosa* (Kartoffelrose) nach einigen Jahren vermehrt auftreten.

Auch wenn einige der physikalischen Prozesse der natürlichen Dünengenesse auch auf den künstlichen Dünen nachgewiesen werden können, schließt die direkte Abhängigkeit der Vegetation von den Standortbedingungen eine Entwicklung der künstlichen Dünen im Sinne der natürlichen Dünengenesse definitiv aus. Die Ergebnisse der Pflanzengesellschaften und die der Frequenzen der Arten lassen sich hierfür als Beleg anführen. Da die Erosion an den Randdünen im Pirolatal voraussichtlich in den nächsten Jahren anhalten wird, ist darüber hinaus nicht damit zu rechnen, dass die künstlichen Dünen viel Zeit zur Entwicklung haben. Die momentane Geschwindigkeit der Erosion verhindert, dass die Dünen ein Alter von über zehn Jahren erreichen. Die beprobte Düne aus dem Jahr 2000 stellt somit das vermutlich vorläufige Endstadium der Entwicklungsreihe der künstlichen Dünen dar. Durch diese beiden Faktoren wird eine vollständige Integration der künstlichen Dünen ins Ökosystem der Insel verhindert.

Literatur

- Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Berlin.
- Ellenberg, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart/Hohenheim.
- Ellenberg, H. (2001): Indicator values of plants in Central Europe. In: Scripta Geobotanika 18.
- Frahm, J.-P. & W. Frey (1983): Moosflora. Stuttgart.
- Frey, W. (1998): Lehrbuch der Geobotanik. Pflanzen und Vegetation in Raum und Zeit. Stuttgart/Hohenheim.
- Füchtbauer, H. (1959): Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine. In: Erdöl, Erdgas, Kohle 12: 605-613.
- Google Germany GmbH (2009): Google Earth. (<http://earth.google.com/intl/de/>, 09. April 2010).
- Hahn-Weinheimer, P. (1995): Röntgenfluoreszenzanalytische Methoden. Grundlagen und praktische Anwendung in den Geo-, Material- und Umweltwissenschaften. Braunschweig, Wiesbaden.
- Hartge, H. & R. Horn (1989): Die physikalische Untersuchung von Böden. Stuttgart.
- Jahns, H.-M. (1980): Farne, Moose, Flechten Mittel-, Nord- und Westeuropas. München.
- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2007): Information zur Sicherung und Verstärkung der Schutzdüne vor dem Pirolatal auf Langeoog. (http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C38784270_L20.pdf, 02. Februar 2009).
- Schlichting, E., H.P. Blume & K. Stahr (1995): Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte und für Geowissenschaftler. In: Pareys Studentexte 81. Berlin.
- Streif H. (1990): Das Ostfriesische Küstengebiet. Nordsee, Inseln, Watten und Marschen - In: Gwinner, M. P. (Hrsg.): Sammlung geologischer Führer 57. Berlin, Stuttgart.
- Trask, P.D. (1939): Recent marine sediments. A symposium. London.

Tüxen, R. & H. Ellenberg (1937): Der systematische und der ökologische Gruppenwert. Ein Beitrag zur Begriffsbildung und Methodik der Pflanzensoziologie. In: Mitteilungen der floristisch- soziologischen Arbeitsgemeinschaft Niedersachsen 3. Hannover.

Utermann, J. (Hrsg.) (2000): Labormethoden . Dokumentation. In: Geologisches Jahrbuch Reihe G 8. Hannover.

Van Dieren, J. (1934): Organogene Dünenbildung. Den Haag.

Wisskirchen, R. & H. Haeupler (1998): Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Stuttgart.

Adresse

Lena Seehausen
Georg-August-Universität Göttingen
Institut für Geographie
Goldschmidtstraße 3
37077 Göttingen, Germany

L.Seehausen@gmx.de